

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-181023

(43)Date of publication of application : 18.07.1995

(51)Int.Cl.

G01B 11/24

G02B 7/28

(21)Application number : 06-231549

(71)Applicant :

KOMATSU LTD

(22)Date of filing : 27.09.1994

(72)Inventor :

WAKAI HIDEYUKI  
MIZOGUCHI KIYOKAZU  
SUZUKI TORU  
TERADA KEIJI  
MORIYA MASATO  
ANDO MANABU  
SHIO YASUSHI

(30)Priority

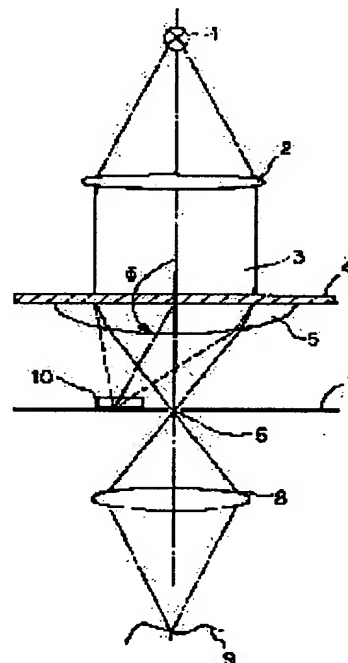
Priority number : 05245438 Priority date : 30.09.1993 Priority country : JP

## (54) COFOCAL OPTICAL SYSTEM

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To realize highly accurate measurement of three-dimensional profile by disposing two openings at one position to share the identical openings and disposing the detecting plane of an optical detector in flush with the openings.

**CONSTITUTION:** Laser light from a light source 1 passes through a lens 2 to produce a parallel light 3 which impinges on a reflection hologram 4. The hologram 4 serves as a half mirror and a diffraction grating and the 0 order light is condensed through a lens 5 at a focal position 6. A pinhole 7 is disposed at the position 6 and the light passed through the pinhole 7 is condensed through a lens 8 before impinging on an object 9 to be measured. The light reflected on the object 9 is condensed through the lens 8 and passes through the pinhole 7. The light is condensed through a lens 5 and impinges on the hologram 4 as a parallel light advancing in reverse direction to the parallel light 3. The 1st order light thereof is reflected at an angle 4 and condensed through the lens 5 before impinging on an optical detector 10. Since the cofocal optical system has identical focal points on the light source side and the light receiving side, the pinhole 7 can be shared.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3404607

[Date of registration] 07.03.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-181023

(43) 公開日 平成7年(1995)7月18日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 B 11/24

C

G 0 2 B 7/28

G 0 2 B 7/ 11

M

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平6-231549

(22) 出願日 平成6年(1994)9月27日

(31) 優先権主張番号 特願平5-245438

(32) 優先日 平5(1993)9月30日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001236

株式会社小松製作所

東京都港区赤坂二丁目3番6号

(72) 発明者 若井 秀之

神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内

(72) 発明者 溝口 清和

神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内

(72) 発明者 鈴木 徹

神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内

(74) 代理人 弁理士 木村 高久

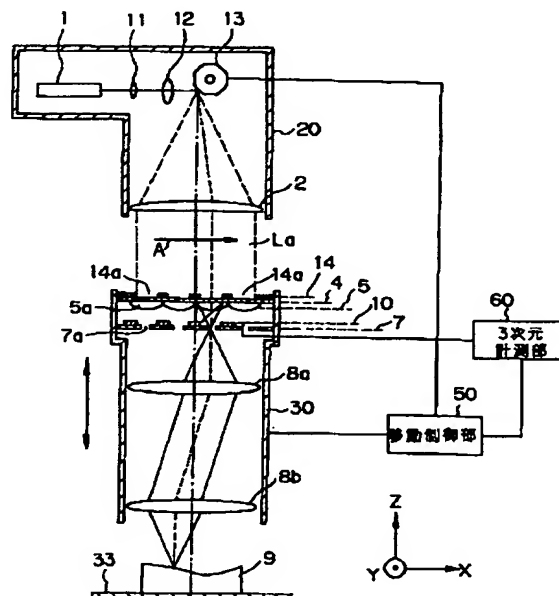
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共焦点光学装置

(57) 【要約】

【目的】装置の小型軽量化を図ると共に、3次元形状計測を高速に精度よくし得、更に各部の位置合わせを容易にできる共焦点光学装置を提供することを目的とする。

【構成】光源と、この光源から発した光を通過させて点光源光にする第1の開口部と、この第1の開口部を通過した光を被計測物体上に集光する対物レンズと、この被計測物体上の集光面に共役な面に位置する第2の開口部と、該第2の開口部を通過した光を検出する光検出器とを有する共焦点光学装置において、前記第1及び第2の開口部を同一位置に配して同一開口部で共用すると共に、前記光検出器の検出面を前記共用される同一の開口部とほぼ同一の面上に配設することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】光源と、この光源から発した光を通過させて点光源光にする第 1 の開口部と、この第 1 の開口部を通過した光を被計測物体上に集光する対物レンズと、この被計測物体上の集光面に共役な面に位置する第 2 の開口部と、該第 2 の開口部を通過した光を検出する光検出器とを有する共焦点光学装置において、前記第 1 及び第 2 の開口部を同一位置に配して同一の開口部をもって共用すると共に、前記光検出器の検出面を前記共用される同一の開口部とはほぼ同一の面上に配設するようにしたことを特徴とする共焦点光学装置。

## 【請求項 2】光源と、

この光源からの光を入射してハーフミラーおよび回折格子の作用をなす光学素子と、

この光学素子に密着または近接して配設され、光学素子からの 0 次光を集光する第 1 の集光手段と、

この第 1 の集光手段によって集光された光を通過させるピンホールと、

このピンホールを通過した光を集光して被計測物体に投光するとともに、被計測物体で散乱された光を前記ピンホールに集光する第 2 の集光手段と、

を備えると共に、

前記光学素子は、前記ピンホールおよび前記第 1 の集光手段を介して再入射された光の 1 次回折光を前記第 1 の集光手段に入射するものであり、

さらに前記第 1 の集光手段によって集光された前記 1 次回折光を受光する光検出器を備えるようにした共焦点光学装置。

【請求項 3】順次移動走査される平行スリット光を発生する平行スリット光発生手段と、

光通過用の開口が複数個 2 次的に配置され、前記平行光発生手段からの平行スリット光を入射する開口アレイと、

前記開口アレイを通過した光が入射され、ハーフミラーおよび回折素子の作用をなす光学素子と、

前記光学素子に近接して配設され、光学素子からの 0 次光を集光するレンズが複数個 2 次的に配列されたレンズアレイと、

前記レンズアレイの各レンズによって集光された光を通過させるピンホールが複数個 2 次元配列されたピンホールアレイと、

前記各ピンホールを通過した光を集光して被計測物体に投光するとともに、被計測物体で散乱された光を各ピンホールに集光する集光手段と、

を備えると共に、

前記光学素子は、前記各ピンホールおよび前記レンズアレイを介して再入射された光の 1 次回折光を前記レンズアレイに入射するものであり、

さらに前記レンズアレイの各レンズによって集光された前記 1 次回折光を受光する光検出器が複数個 2 次元配列

された光検出器アレイと、

前記平行スリット光発生手段、開口アレイ、光学素子、レンズアレイ、ピンホールアレイ、集光手段および光検出器アレイの少なくとも一部を光軸方向に移動させる移動制御手段と、

前記平行スリット光の移動走査および前記移動制御手段の移動制御に対応する前記各光検出器の出力に基づき前記被計測物体の 3 次元距離計測を行う 3 次元距離計測手段と、

を備えるようにした共焦点光学装置。

【請求項 4】前記開口アレイ、光学素子、レンズアレイ、ピンホールアレイおよび光検出器アレイは、積層構造をとっていることを特徴とする請求項 3 記載の共焦点光学装置。

【請求項 5】前記光検出器アレイの各光検出器はマトリックス状に 2 次元配置され、かつこれら検出器は複数のブロックに区分されるとともに、各ブロックの光検出器は共通な接続線で接続されて各ブロック毎に共通の信号取り出し回路に接続されている請求項 3 記載の共焦点光学装置。

【請求項 6】3 次元距離計測手段は、前記平行スリット光の移動走査にともなって、各ブロック単位に光検出器の検出信号の読み取りを順次実行することを特徴とする請求項 3 記載の共焦点光学装置。

【請求項 7】面光線を発生する面光線発生手段と、光通過用の開口が複数個 2 次的に配置され、前記面光線発生手段からの面光線を入射する開口アレイと、

前記開口アレイを通過した光が入射され、ハーフミラーおよび回折素子の作用をなす光学素子と、

この光学素子に近接して配設され、光学素子からの 0 次光を集光するレンズが複数個 2 次的に配列されたレンズアレイと、

前記レンズアレイの各レンズによって集光された光を通過させるピンホールが複数個 2 次元配列されたピンホールアレイと、

前記各ピンホールを通過した光を集光して被計測物体に投光するとともに、被計測物体で散乱された光を各ピンホールに集光する集光手段と、

を備えると共に、

前記光学素子は、前記各ピンホールおよび前記レンズアレイを介して再入射された光の 1 次回折光を前記レンズアレイに入射するものであり、

さらに前記レンズアレイの各レンズによって集光された前記 1 次回折光を受光する光検出器が複数個 2 次元配列された光検出器アレイと、

前記面光線発生手段、開口アレイ、光学素子、レンズアレイ、ピンホールアレイ、集光手段および光検出器アレイの少なくとも一部を光軸方向に移動させる移動制御手段と、

前記移動制御手段の移動制御に対応する前記各光検出器

の出力に基づき前記被計測物体の 3 次元距離計測を行う 3 次元距離計測手段と、

を備えるようにした共焦点光学装置。

【請求項 8】前記開口アレイ、光学素子、レンズアレイ、ピンホールアレイおよび光検出器アレイは、積層構造をとっていることを特徴とする請求項 7 記載の共焦点光学装置。

【請求項 9】前記面光線発生手段は、複数の発光素子がマトリックス状に配列された光源アレイである請求項 7 記載の共焦点光学装置。

【請求項 10】光通過用の開口が複数個 2 次元配置された開口アレイと、

ハーフミラー及び回折格子の作用をなす光学素子と、前記開口アレイの各開口を通過した光を集光するレンズが複数個 2 次元配列されたレンズアレイと、

前記各レンズによって集光された光を通過させるピンホールが複数個 2 次元配列されたピンホールアレイと、

前記ピンホールアレイの各ピンホールに再入射された光の前記光学素子での反射光の前記レンズによる集光光が入射される光検出器が複数個 2 次元配列された光検出器アレイと、

を有し、これら開口アレイ、光学素子、レンズアレイ、ピンホールアレイ、光検出器アレイの積層構造からなる光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は共焦点光学系を応用した 3 次元形状計測装置に関し、特にホログラムや回折格子型ハーフミラーを利用して 3 次元計測を行う共焦点光学装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】距離を測定する技術として所謂共焦点光学系がある。図 2 2 に共焦点光学系の原理を示す。

【0003】図 2 2 において、光源 1 の光はレンズ 1 2 で集光された後、焦点 F 1 に配置されたピンホール PH 1 を介してハーフミラー 3 1 に入射される。光源 1 の光は焦点 F 1 に配置されたピンホール PH 1 によって点光源と等価な光になる。ハーフミラー 3 1 で反射された光はレンズ 8 によって集光されて物体 9 の表面に投光される。この場合はレンズ 8 の焦点位置 F 2 に物体 9 の表面がある場合を示しており、物体 9 は 3 次元移動ステージ 4 0 によって X-Y-Z 方向に移動走査される。物体 9 の表面で散乱した光はレンズ 8 を通りハーフミラー 3 1 を透過した後、光源 1 の焦点位置と共役な点 F 3 に集光される。この焦点 F 3 の位置にピンホール PH 2 を置き、通過する光を光センサ 1 0 で検出するようにする。

【0004】かかる構成によれば、図 2 3 (a)(b) に示す如く、物体表面 Z 0 が焦点位置 F 2 の前後 Z 1、Z 2 に外れた場合、共役点側の焦点 F 3 が移動しピンホールの作用

で光センサ 1 0 の出力が著しく低下する。図 2 4 に物体表面の位置と光センサ 1 0 の出力との関係を示す。

【0005】かかる構成によれば、3 次元移動ステージ 4 0 によって被計測物体 9 を X-Y 座標位置毎に Z 軸方向（光軸方向）に変位させ、この変位にともなって光センサ 1 0 の出力をサンプリングし、サンプリング出力が最大になったときの Z 位置を物体 9 の表面位置として検出することができる。従って、順次 X-Y 座標位置を変化させて同様の計測を行うようにすれば、被計測物体 9 の 3 次元計測を行うことができる。

【0006】しかし、この従来装置では、各計測時点において空間の 1 点の情報しか得られないために、表面形状の検出に多くの時間を必要とする欠点がある。

【0007】そこで、特開平 4-265918 号公報においては、共焦点光学系を 2 次元的に配置し、各物体位置を並列に検出するようにしており、図 2 5 にその構成を示す。

【0008】すなわちこの図 2 5 に示す装置では、光源 1 の光はレンズ 1 2、2 を介して平行光となりピンホールアレイ PHA 1 に入射される。ピンホールアレイ PHA 1 は、ピンホールがマトリックス状に配設されたものである。ピンホールアレイ PHA 1 を通過した光はハーフミラー 3 1 を透過し、レンズ 8 a、8 b によって集光され、被計測物体 9 に投光される。被計測物体 9 は Z 軸方向に変位可能な移動ステージ 3 5 上に載置されている。被計測物体 9 で反射された光はレンズ 8 a、8 b で集光され、ハーフミラー 3 1 で反射され、ピンホールアレイ PHA 1 と共役な位置に結像する。この結像位置にピンホールアレイ PHA 2 を配設し、ピンホールを通過する光を、光センサアレイの各光センサ 1 0 で検出する。

【0009】かかる従来構成によれば、移動ステージ 3 5 を Z 軸方向に変位させながら、光センサアレイの個々の光センサ 1 0 の出力を別々にサンプリングし、各々の光センサ出力が最大になったときの Z 方向位置を物体 9 の表面位置として検出することができる。

【0010】この従来技術によれば、XY 方向に移動ステージを移動させる必要がなくなるので、先の図 2 2 に示す従来構成より計測時間を短縮することができる。

【0011】ところで、この図 2 5 に示す装置においても、形状計測時間を更に高速化するためには移動ステージ 3 5 を更に高速移動させる必要があるが、移動ステージ 3 5 は計測対象を載置しなくてはならないので、その高速移動には限界がある。すなわち、例えば、非常に重く大きな計測対象や、非常に繊細な構造を有するために高速変位による慣性力に耐えられない計測対象等は、高速移動ステージによる移動が困難となる。

【0012】この問題を解決するための手法として、計測対象 9 を固定して計測器自体を Z 方向に移動変位させることが考えられる。しかし、計測器を高速変位させる

ためには、計測器自体が小型軽量でかつその構造が堅牢で高速変位による慣性力に耐えられなくてはならない。ところが、図 25 に示す従来技術では、高速移動用の対策がなされていないために、高速移動した場合、共焦点光学系がくずれるなどの問題が発生する可能性がある。特に共焦点光学系においては、共焦点光学系が常に有効になるように、ピンホールアレイ PHA1、PHA2 をハーフミラー 31 に対して共役な位置に常に正確に位置させることが重要であるが、このことと小型軽量化の要望とを双方満足させるには従来限界があった。

【0013】また、図 25 のハーフミラー 31 は通常ブリズム型が使用されるが、このブリズム型は立方体領域を必要とするため、光源の焦点位置（ピンホールアレイ PHA1）と受光の焦点（ピンホールアレイ PHA2）はハーフミラー 31 のある立方体領域の外側に配置しなくてはならず、このためレンズ 8a から各々の焦点までの距離はハーフミラー 31 の立方体の長さより小さくすることはできない。また、共焦点ユニットの光源の焦点と受光の焦点のハーフミラー 31 に対する幾何学的な距離は共焦点ユニット毎に違ったものとなる。よって、図 25 に示す従来構成では小型、軽量化には限界があると共に、光源の焦点と受光の焦点の正確な位置合わせが必要になる。

【0014】この発明はこのような実情に鑑みてなされたもので、装置の小型軽量化を図ると共に、3 次元形状計測を高速に精度よくし得、更に各部の位置合わせを容易にできる共焦点光学装置を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段及び作用】この発明では、光源と、この光源から発した光を通過させて点光源光にする第 1 の開口部と、この第 1 の開口部を通過した光を被計測物体上に集光する対物レンズと、この被計測物体上の集光面に共役な面に位置する第 2 の開口部と、該第 2 の開口部を通過した光を検出する光検出器とを有する共焦点光学装置において、前記第 1 及び第 2 の開口部を同一位置に配して同一開口部で共用すると共に、前記光検出器の検出面を前記共用される同一の開口部とほぼ同一の面上に配設するようにしたことを特徴とする。

【0016】係る発明によれば、第 1 及び第 2 の開口部を同一開口で共用すると共に、この同一開口とほぼ同一の面に光検出器の検出面を配設するようにしており、これにより、第 1、第 2 の開口および光検出器の精度のよい位置合わせを容易になし得るとともに、これら部分の構成を薄型、小型、堅牢にできる。

【0017】またこの発明によれば、光源と、この光源からの光を入射してハーフミラーおよび回折格子の作用をなす光学素子と、この光学素子に密着または近接して配設され、光学素子からの 0 次光を集光する第 1 の集光手段と、この第 1 の集光手段によって集光された光を通

過させるピンホールと、このピンホールを通過した光を集光して被計測物体に投光するとともに、被計測物体で散乱された光を前記ピンホールに集光する第 2 の集光手段とを備えると共に、前記光学素子は、前記ピンホールおよび前記第 1 の集光手段を介して再入射された光の 1 次回折光を前記第 1 の集光手段に入射するものであり、さらに前記第 1 の集光手段によって集光された前記 1 次回折光を受光する光検出器を備えるようにしている。

【0018】すなわち係る本発明の構成によれば、共焦点光学系の光源の焦点と受光の焦点は同じ位置であるため、この位置に両焦点に共通のピンホールを配置すればよくなるので、安定した共焦点効果が得られると共に、各焦点の位置合わせが不要になり、さらに装置の小型軽量化を図ることができる。また、平板状のホログラムや平板状の回折格子型ハーフミラーなどの光学素子を用いて、ハーフミラー及び回折格子の作用を得るようにしているので、極めて薄い領域に共焦点光学系を配置することができる。

【0019】またこの発明では、順次移動走査される平行スリット光を発生する平行スリット光発生手段と、光通過用の開口が複数個 2 次的に配置され、前記平行光発生手段からの平行スリット光を入射する開口アレイと、前記開口アレイを通過した光が入射され、ハーフミラーおよび回折素子の作用をなす光学素子と、前記光学素子に近接して配設され、光学素子からの 0 次光を集光するレンズが複数個 2 次的に配列されたレンズアレイと、前記レンズアレイの各レンズによって集光された光を通過させるピンホールが複数個 2 次元配列されたピンホールアレイと、前記各ピンホールを通過した光を集光して被計測物体に投光するとともに、被計測物体で散乱された光を各ピンホールに集光する集光手段と備えると共に、前記光学素子は、前記各ピンホールおよび前記レンズアレイを介して再入射された光の 1 次回折光を前記レンズアレイに入射するものであり、さらに前記レンズアレイの各レンズによって集光された前記 1 次回折光を受光する光検出器が複数個 2 次元配列された光検出器アレイと、前記平行スリット光発生手段、開口アレイ、光学素子、レンズアレイ、ピンホールアレイ、集光手段および光検出器アレイの少なくとも一部を光軸方向に移動させる移動制御手段と、前記平行スリット光の移動走査および前記移動制御手段の移動制御に対応する前記各光検出器の出力に基づき前記被計測物体の 3 次元距離計測を行う 3 次元距離計測手段とを備えるようにしている。

【0020】係る発明によれば、開口、レンズ、ピンホール、光検出器が 2 次的に配列された共焦点光学系に平行スリット光を入射し、各光検出器で被計測物体からの反射光を受光する。そして、平行スリット光の移動走査および前記移動制御手段による移動走査に対応する前記各光検出器の出力に基づき前記被計測物体の 3 次元距離計測を行う。

【0021】またこの発明では、面光線を発生する面光線発生手段と、光通過用の開口が複数個2次的に配置され、前記面光線発生手段からの面光線を入射する開口アレイと、前記開口アレイを通過した光が入射され、ハーフミラーおよび回折素子の作用をなす光学素子と、この光学素子に近接して配設され、光学素子からの0次光を集光するレンズが複数個2次的に配列されたレンズアレイと、前記レンズアレイの各レンズによって集光された光を通過させるピンホールが複数個2次元配列されたピンホールアレイと、前記各ピンホールを通過した光を集光して被計測物体に投光するとともに、被計測物体で散乱された光を各ピンホールに集光する集光手段と備えと共に、前記光学素子は、前記各ピンホールおよび前記レンズアレイを介して再入射された光の1次回折光を前記レンズアレイに入射するものであり、さらに前記レンズアレイの各レンズによって集光された前記1次回折光を受光する光検出器が複数個2次元配列された光検出器アレイと、前記面光線発生手段、開口アレイ、光学素子、レンズアレイ、ピンホールアレイ、集光手段および光検出器アレイの少なくとも一部を光軸方向に移動させる移動制御手段と、前記移動制御手段の移動制御に対応する前記各光検出器の出力に基づき前記被計測物体の3次元距離計測を行う3次元距離計測手段とを備えるようにしている。

【0022】係る発明によれば、開口、レンズ、ピンホール、光検出器が2次的に配列された共焦点光学系に面光線を入射し、各光検出器で被計測物体からの反射光を受光する。そして、前記移動制御手段による移動走査に対応する前記各光検出器の出力に基づき前記被計測物体の3次元距離計測を行う。

【0023】

【実施例】以下この発明を添付図面に示す実施例に従って詳細に説明する。

【0024】図2にこの発明の基本的構成を示す。

【0025】図2において、光源1から出力されたレーザ光（或いは該レーザ光に準ずる単色光）は、レンズ2によって平行光3になって反射型ホログラム4に入射される。反射型ホログラム4は、ハーフミラーおよび回折格子の作用をなすもので、図3(a)に示すように、光軸方向と角度 $\phi$ を成す平行光によって露光される。このホログラム4を例えば回折効率40%となるように現像処理した場合は、図3(b)の実線で示す平行光を入射すると、0次光（点鎖線）、1次光（破線）が各々入射光の60%、40%の強度で得られる。また、このホログラムに図3(b)とは逆向きの平行光を入射すれば、図3(c)に示すように、0次光、1次光が各々入射光の60%、40%の強度で得られる。

【0026】図2においては、このホログラム4に図3(b)と同じ方向でスリット平行光が入射され、その0次光は反射型ホログラム4に近接したレンズ5によってそ

の焦点位置6に集光される。この焦点位置6にピンホール7が配置され、該ピンホール7の孔を光が通過する。ピンホール7を通過した光は、再びレンズ8によって集光され、被計測物体9上に照射される。被計測物体9で反射された光はレンズ8によって再び集光されてピンホール7を再び通過する。ピンホール7を通過した光はレンズ5によって集光され、光源からの平行光3とは逆向きの平行光としてホログラム4に入射される。ホログラム4に入射された平行光の1次回折光は、図3(c)に示すように、角度 $\phi$ をもって反射されてレンズ5を介して集光される。この集光位置に光検出器10が配置され、該光検出器10によって入射された光の光量を検出する。

【0027】すなわち、この構成によれば、共焦点光学系の光源側の焦点位置と受光側の焦点位置とが同じ位置6となり、ピンホール7を共通化することができる。したがって安定した共焦点効果が得られると共に、従来のような光源の焦点と受光の焦点との位置合わせが不要になる。さらに、反射型ホログラム4をハーフミラーとして機能させることにより、従来の構成ではなし得なかった小型化（平面化）および軽量化を実現できる。

【0028】図1は、この発明の第1の実施例を示すもので、本装置は固定部20と、光軸方向（Z方向）に沿って移動する可動部30とで構成されている。

【0029】レーザ光源1から発生されたレーザ光はレンズ11、12によってスリット平行光に変換され、多面体回転ミラー13によって偏向される。偏向されたスリット平行光は、テレセントリックに配置されたシリンドリカルレンズ2に入射され、光軸方向に偏向されるとともに、多面体回転ミラー13による回転によって図示矢印A方向に順次走査される。多面体回転ミラー13は移動制御部50によって回転走査される。このようにして、固定部20から可動部30に対してA方向に走査される平行スリット光Lが順次入射される。

【0030】なお、多面体回転ミラー13の代わりにガルバノミラーを使用してもよく、またシリンドリカルレンズ2の代わりにf- $\theta$ レンズを採用して等速走査を行うようにしてもよい。

【0031】可動部30の光入口には、レンズアレイ5の個々のレンズ5aに光を有効に入射させるための開口14aが各レンズに対応する位置に形成された開口アレイ14が配置され、その下にハーフミラーおよび回折格子として機能する反射型ホログラム4が配置されている。反射型ホログラム4は、先の第2図及び第3図に示したものと同様に機能する。なお、反射型ホログラム4と開口アレイ14の上下の位置関係を逆にしてもよい。

【0032】反射型ホログラム4の下には、レンズアレイ5が反射型ホログラム4に近接または密着して配置され、ホログラム4に入射された光の0次光を各レンズ5aの焦点位置にそれぞれ集光する。各レンズ5aの焦点

10

20

30

40

50

位置には、ピンホールアレイ7の各ピンホール7aが配置され、前記集光された各光はピンホール7aを通過する。なお、前記平行スリット光の幅はレンズアレイ5の各レンズ5aのピッチより細いものとする。

【0033】レンズ8a、8bは、所謂テレセントリック系であり、ピンホールアレイ7の全ての像を光軸方向に平行に結像する。したがって、可動部30を光軸（Z軸）方向に移動した場合でも、計測物体9上に結像する光点のX-Y位置は変化しない。

【0034】計測物体9で散乱した光は、レンズ8b、8aによって集光され、共焦点効果を持つピンホールアレイ7を通過し、レンズアレイ5に入射され、レンズアレイ5の個々のレンズ5aによってレンズ2から出射されたスリット平行光とは逆向きの平行光として図3(c)に示したのと同じ方向に反射型ホログラム4に入射する。反射型ホログラム4の1次回折光は再びレンズアレイ5の個々のレンズ5aに入射され、それぞれ角度φで集光される。これら各集光位置に個々の光検出器10aが配置されるように光検出器アレイ10を配置する。

【0035】かかる構成においては、計測物体9は適宜のテーブル33上に固定配置する。一方、可動部30は、移動制御部50によって多面体回転ミラー13による回転走査に同期して光軸（Z軸）方向にそって移動される。3次元計測部60では、可動部30の移動に伴って光検出器アレイ10の個々の検出器10aの出力を順次サンプリングし、各々の出力が最大になったときのZ位置を物体表面の位置として検出する。

【0036】また、かかる構成において、開口アレイ14、反射型ホログラム4、レンズアレイ5、光検出器アレイ10およびピンホールアレイ7は、図4および図5に示すように、半導体プロセスを用いて平面状に一体的に形成される。

【0037】すなわち、図4及び図5において、開口アレイ14は遮光プレートから成っており、このプレートの各レンズ5aに対応した位置に開口14aが形成されている。開口アレイ14の遮光膜は、例えば、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の3層膜をスパッタリングで形成する。上記3層膜の中間層のCrで反射された光はCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜によって多重反射し減衰する。

【0038】レンズアレイ5は、この場合平板マイクロレンズ（PML）を用いるようにしている。平板マイクロレンズは、平面状のガラス基板5中にイオンを選択的に拡散することによって屈折率分布を形成することにより複数のレンズ5a部分を作成する。このレンズアレイ5の各レンズ部分5aの光の入射部分には、無反射コートが施されている。

【0039】したがって、このようにして作成したレンズアレイのガラス基板5上に、図3(a)に示した要領で露光現像したホログラム4を密着させ、さらにその上に開口アレイ14を形成するようにする。なお、ホログラ

ム4の製造時の耐熱性が問題となる場合は、レンズアレイ5のガラス基板上に開口アレイ14を形成した後、その上に露光現像されたホログラム4を密着するようにしてもよい。

【0040】また、ガラス基板5との密着面に無反射コートが施された平面ガラス基板15に、前記レンズアレイの5のレンズピッチに対応するピッチで光検出器アレイ10およびピンホールアレイ7を形成する。

【0041】そして、光検出器アレイ10およびピンホールアレイ7が形成された平面ガラス基板15と、前記開口アレイ14、ホログラム4及びレンズアレイ5が形成されたガラス基板5とを位置合わせして密着させることにより、この部分を形成する。

【0042】なお、マイクロレンズ基板5とガラスセンサ基板15を接合する場合、これらの間にガラスとほぼ同じ屈折率を有する透明屈折液を充填するようにして、これら基板界面での不都合な反射を防ぐことができる。

【0043】また、同様に、マイクロレンズ基板5とホログラム4を接合する場合、これらの間にガラスとほぼ同じ屈折率を有する透明屈折液を充填するようにして、これら基板間での不都合な反射を防ぐこともできる。

【0044】図6は、ピンホールアレイ7及び光検出器アレイ10の製造過程を示すもので、以下その詳細を製造順に説明する。

【0045】(a)平面ガラス基板15

(b)平面ガラス基板15上に透明導電膜（TCO）16を形成する。TCOはSnO<sub>2</sub>等を使用する。

(c)例えばエッチングなどにより透明導電膜16から光検出素子部分17、ピンホール部分18以外を除去する。なお、この工程で、ピンホール部分の透明導電膜を残すのは、この後の工程(d)のエッチングでピンホールの開口部のガラスが侵食されるのを防ぐためである。

(d)この上にアモルファスシリコン19を形成する。

(e)アモルファスシリコン19のピンホール部分18をエッチングなどを用いて除去する。

(f)ニッケル膜21を形成する。

(g)例えばエッチングなどによりニッケル膜21から光検出素子部分22、ピンホール部分23以外を除去する。また、ピンホールの各開口もエッチングによって形成する。

(h)この上層に透明絶縁膜24を形成する。

(i)さらに、ニッケル膜25を形成する。

(j)ニッケル膜25のピンホール部分26をエッチングによって形成する。

【0046】これら一連の処理によって、アモルファスシリコン19、透明アノード電極17および金属カソード電極22から成る光検出素子を形成すると共に、ピンホールの遮光部分をニッケル膜23、25によって形成する。

【0047】図7は、他の製造方法を示すもので、以下



その詳細を製造順に説明する。

【0048】(a)平面ガラス基板15

(b)平面ガラス基板15上に透明導電膜(TCO)16を形成する。

(c)例えばエッチングなどにより透明導電膜16から光検出素子部分17、ピンホール部分18以外を除去する。なお、この工程で、ピンホール部分の透明導電膜を残すのは、この後の工程(e)(k)のエッチングでピンホールの開口部のガラスが侵食されるのを防ぐためである。

(d)この上にアモルファスシリコン19を形成する。

(e)アモルファスシリコン19のピンホール部分18をエッチングなどを用いて除去する。

(f)ニッケル膜21を形成する。

(g)例えばエッチングなどによりニッケル膜21から光検出素子部分22以外を除去する。

(h)この上層に絶縁膜24を形成する。

(i)エッチングなどにより絶縁膜24およびアモルファスシリコン19からピンホール部分27を除去する。

(j)ニッケル膜25を形成する。

(k)エッチングによってニッケル膜25のピンホール26部分を除去しピンホールを形成する。

【0049】これら一連の処理によって、アモルファスシリコン19、透明アノード電極17および金属カソード電極22から成る光検出素子を形成すると共に、ピンホールの遮光部分をニッケル膜25によって形成する。

【0050】図8は、更に別の製造方法を示すもので、以下その詳細を製造順に従って説明する。

【0051】(a)平面ガラス基板15

(b)平面ガラス基板15上に透明導電膜(TCO)16を形成する。

(c)例えばエッチングなどにより透明導電膜16から光検出素子部分17、ピンホール部分18以外を除去する。なお、この工程で、ピンホール部分の透明導電膜を残すのは、この後の工程(j)のエッチングでピンホールの開口部のガラスが侵食されるのを防ぐためである。

(d)この上にアモルファスシリコン19を形成する。

(e)ニッケル膜21を形成する。

(f)例えばエッチングなどによりニッケル膜21から光検出素子部分22以外を除去する。

(g)この上層に絶縁膜24を形成する。

(h)エッチングなどにより絶縁膜24からピンホール部分27を除去する。

【0052】(i)ニッケル膜25を形成する。

(j)エッチングによってニッケル膜25およびアモルファスシリコン19のピンホール部分28を除去しピンホールを形成する。

【0053】これら一連の処理によって、アモルファスシリコン19、透明アノード電極17および金属カソード電極22から成る光検出素子を形成すると共に、ピンホールの遮光部分をニッケル膜25によって形成する。

すなわち、この製造方法によれば、工程(i)のエッチングによって、ニッケル膜25およびアモルファスシリコン19のピンホール部分を一度に削除するようにしている。

【0054】図9は、 $n \times m$ 個の光検出器 $S_{11} \sim S_{nm}$ から成る光検出器アレイ10とこれら光検出器 $S_{11} \sim S_{nm}$ の信号を読み出すの回路構成を示すもので、奇数行の光検出器は列毎に共通な接続線でアナログマルチプレクサM1に接続され、偶数行の光検出器は列毎に共通な接続線でアナログマルチプレクサM2に接続されている。ハッチングが施された光検出器 $E_1 \sim E_m$ は行単位の読み出しタイミング信号VD1、VD2を発生するためのもので、また光検出器Fは1回の読み取り走査の開始タイミング信号FDを出力させるためのものである。

【0055】図9の破線で囲まれた領域が図1の平行スリット光Laのある時点における照射領域であり、前記多面体回転ミラーによる走査によって該照射領域が矢印A方向に移動走査される。すなわち、平行スリット光の移動走査は、奇数行→偶数行の順番に交互に行われ、奇数行の光検出器で検出された信号はマルチプレクサM1によって順次列毎に読み出され、偶数行の光検出器で検出された信号はマルチプレクサM2によって順次列毎に読み出される。

【0056】かかる構成によれば、入射平行スリット光が奇数行と偶数行にまたがって入射された場合でも、両者の信号を各行から独立して読みだすことができる。したがって、各光検出器を接近させて配置することができるとともに、開口アレイ14の遮光部分の面積を小さくすることができ、この部分の構成をより小型化することができる。

【0057】なお、図9において、ハッチングが施されたタイミング信号発生用の光検出器 $E_1 \sim E_m$ は、光検出器マトリックスの端のピンホール7が位置されるべきマトリックス位置に配置され、固定部20からの平行スリット光Laが直接入射される。信号VD1は奇数行の読み出しタイミングを判断するための信号であり、信号VD2は偶数行の読み出しタイミングを判断するための信号である。また、読み取り開始タイミング信号FD発生用の光検出器Fは、例えば第1行目の光検出器 $E_1$ と逆端においてピンホール7が位置されるべきマトリックス位置に配置される。

【0058】図10は、各タイミング信号FD、VD1、VD2及びマルチプレクサM1、M2からの出力信号V1、V2のタイミングを示すもので、各光検出器 $S_{11} \sim S_{mn}$ はこの場合、電荷蓄積型として機能するので、VD1の立下がりて奇数行の検出器の出力を読み出し、VD2の立下がりて偶数行の検出器の出力を読み出すよう作用する。したがって、この回路構成によれば、奇数行の検出器に光が入射されている間に、既に電荷蓄積された偶数行の検出器の出力を読み出す、あるいはその逆を交互



に繰り返す。

【0059】なお、マルチプレクサM1、M2の代わりにCCDカメラセンサで応用されている電荷転送方法を用いるようにしてもよい。

【0060】また、上記回路において、信号VD1を遅延させこの遅延信号をトリガとして偶数行の検出器の出力を読み出すとともに、信号VD2を遅延させこの遅延信号をトリガとして奇数行の検出器の出力を読み出すようにしてもよい。さらに、信号VD1およびVD2の立上がりそれぞれを遅延させ、これらの遅延信号によって各検出器の出力の読み出しを行うようにしてもよい。

【0061】図11は、この発明の他の実施例を示すもので、この場合は先の図1の実施例のように走査型のスリット平行光を用いるのではなく、非走査型の平行面光線Lbを用いるようにする。また、可動部30をレンズ8aのみで構成し、その他の部分を固定部20側に配設するようにしている。その他の構成は図1の実施例と同様であり、同じ機能を達成する構成要素には同一符号を付してある。

【0062】すなわち、図11において、レーザ光源1から発生されたレーザ光はシリンドリカルレンズ12、2によって平行面光線にLbに変換され、開口アレィ14に入射される。開口アレィ14の開口を通過した光は、前記同様、ホログラム4、レンズアレィ5、ピンホールアレィ7、レンズ8a、8bを経由して計測物体9に集光される。計測物体9で散乱した光は、レンズ8b、8a、ピンホールアレィ7、レンズアレィ5を経由してホログラム4に入射され、該ホログラム4で回折されて光検出器アレィ10の各検出器に入射される。

【0063】この場合は、平行面光線Lbを用いるようにしているため、光検出器アレィ10の全ての検出器に平行面光線Lbの掃り光が同時に入射される。

【0064】かかる実施例によれば、可動部30をレンズ8bのみで構成しているため、荷搬重量を軽くでき、移動走査のための構成を簡素化することができる。

【0065】なお、図11のように、平行面光線Lbを用いた場合においても、先の図1に示したように、開口アレィ14により下の部分（開口アレィ14、ホログラム4、レンズアレィ5、光検出器アレィ10、ピンホールアレィ7、レンズ8a、8b）を可動部分として構成するようにしてもよい。さらに、図11において、計測対象物体9以外の全ての構成要素を可動部30として構成するようにしてもよい。

【0066】図12は、この発明の更に別の実施例を示すもので、この場合は装置全体を可動部30として構成している。また、面光線が発生するための光源として、複数のレーザエレメントがマトリックス配置されたレーザ光源アレィ40を用いるようにしている。このレーザ光源アレィは、PHOTONICS RESEARCH INCORPORATED のアレィタイプ面発光半導体レーザとして公知である。ま

た、前記アレィタイプ面発光半導体レーザ40から出力される光線を平行光に変化するためのレンズとして、レンズアレィ50を用いるようにしている。その他の構成は図1または図11の実施例と同様であり、同じ機能を達成する構成要素には同一の符号を付してある。

【0067】すなわち、図12において、レーザ光源40から発生されたレーザ光はレンズアレィ50によって平行面光線に変換され、開口アレィ14に入射される。開口アレィ14の開口を通過した光は、前記同様、ホログラム4、レンズアレィ5、ピンホールアレィ7、レンズ8a、8bを経由して計測物体9に集光される。計測物体9で散乱した光は、レンズ8b、8a、ピンホールアレィ7、レンズアレィ5を経由してホログラム4に入射され、該ホログラム4で回折されて光検出器アレィ10の各検出器に入射される。

【0068】なお、この実施例において、アレィタイプ面発光半導体レーザ40を行単位に順次発光させ、先の図1の実施例のようにスリット光として機能させるようにしてもよい。

【0069】図13は、この発明の更に別の実施例を示すもので、この実施例では先の各実施例における反射型ホログラム4の代わりに、図14に示すような回折格子型ハーフミラー41を用いると共に、レンズ8a、8bの間に1/4波長版42を介在させるようにしている。なお、図13において、1/4波長版42の配設位置は、共焦点光学系の光路中であれば、任意位置でよい。

【0070】上記回折格子型ハーフミラー41は、上記反射型ホログラム4と同様、ハーフミラー及び回折格子として作用するもので、特開昭61-17103号公報にその開示がある。すなわち、ほぼ同一屈折率を有する透明部材43、44に複数の傾斜面を設けると共に、これら傾斜面に偏光依存性の反射膜45を形成してレリーフ型の回折格子を形成しており、その両側に設けられた平行平板46、47で支持されている。反射膜45は、P偏光に対してはほぼ100%の透過率を有し、S偏光に対してはほぼ100%の反射率を有するよう構成されている。

【0071】したがって、図13において、直線偏光特性を有するレーザを用いて光源1からP偏光波を発射すると、このP偏光波は回折格子型ハーフミラー41に入射され、そのほとんどが透過される。さらにこのP偏光波は、1/4波長版42を通過して円偏光になり、対物レンズ8bによって被計測物体9上に集光される。被計測物体9で反射された光は1/4波長版42を通過することによりS偏光波になり、レンズ8a、ピンホール7を介して回折格子型ハーフミラー41に入射され、該ハーフミラー41の反射膜45で反射されて、光検出器10に入射されることになる。

【0072】なお、先の図2、図11または図12に示した実施例においても、ホログラム4の代わりに図14

に示したような回折格子型ハーフミラー41を用いるようにしてもよい。勿論その場合には、共焦点光学系の光路中に1/4波長版42を配設するようにする。

【0073】次に、図15は先の図5に示した薄板状光学器部分の変形例を示すものであり、この場合は、先の図5のようにマイクロレンズアレイ5とガラス基板15を密着させるのではなく、マイクロレンズアレイ5と光検出器アレイ10を密着させるようにしている。

【0074】すなわち、上部遮光膜51、下部遮光膜52、上部絶縁膜53、下部絶縁膜54、上部電極55、下部電極56および光検出器部分57による構成によって光検出器アレイ10の機能とピンホールアレイ7の機能を実現し、かかる構成部分を屈折率調整液58などによってマイクロレンズアレイ5と密着させるようにしている。

【0075】図16は、図15の構成における光検出器アレイ10およびピンホールアレイ7の製造過程を示すもので、以下その詳細を製造順に説明する。

【0076】(a)平面ガラス基板15

(b)平面ガラス基板15上に下部遮光膜52を成膜する。

(c)下部遮光膜52にピンホールアレイ7Aを形成する。

(d)この上に下部絶縁膜54を形成する。

(e)更にこの上に下部電極56を成膜する

(f)下部電極56のパターンを形成する。

(g)更にこの上に光検出部分(アモルファスシリコン)57を成膜する

(h)光検出器部分57にピンホールアレイ7Bを形成する。

(i)上部電極55を成膜する

(j)上部電極55のパターンを形成する。

(k)上部絶縁膜53を成膜する。

(l)上部遮光膜51を成膜する。

(m)上部遮光膜51にピンホールアレイ7Cを形成するとともに、光検出器の開口部7Dを形成する

次に、図17は光検出器部分57をアモルファスシリコンではなく、単結晶シリコン半導体で構成した例を示すもので、図15に示したものと同一構成要素については同一符号を付している。

【0077】すなわち、この場合はシリコン基板の両面に熱酸化法やCVD法を用いてSiO<sub>2</sub>膜を形成し、このSiO<sub>2</sub>膜をマスクとして熱拡散法やイオン注入法を用いてpn接合を形成し、光検出器アレイ部分を形成する。その後再度SiO<sub>2</sub>膜を形成、パターンニングし、RIE法などのエッチング技術によってピンホールアレイ部分を形成する。そして、このようにして作成したピンホールを有する光検出器アレイを屈折率調整液58によってマイクロレンズアレイ5と密着させる。なお、マイクロレンズとの密着の際は、張り合わせSOI技術を用

いて、直接シリコンとマイクロレンズアレイを接合するようにしてもよい。また、単結晶シリコンの代わりにIⅡ-V族半導体などの光電変換の可能な材料を用いるようにしてもよい。さらに、上部電極55および下部電極56は図15や図17の例のように、サンドイッチ状にしてもよいが、図18に示すように、同一平面内に形成するようにしてもよい。

【0078】次に、図19(a)は、図5や図15に示した薄板状光学器部分のさらに別の変形例を示すものであり、同図(b)は円環状光検出器10aの平面図である。

【0079】すなわちこの図19においては、ハーフミラーの作用をハーフミラーコーティング膜59で実現すると共に、光検出器10を円環状にすることによってハーフミラー膜59で反射された光を光検出器10で検出できるようにしている。

【0080】かかる図19に示す構成においては、光源からの光は遮光膜で形成された開口アレイ14を透過し、マイクロレンズアレイ5のマイクロレンズによって集光され、ガラス基板15上に形成されたピンホール7aを通過する。被計測物体からの反射光はピンホール7aを通過した後、ハーフミラーコーティング膜59で反射されて円環状光検出器10aに入射される。

【0081】円環状光検出器10とピンホールアレイ7はガラス基板15上に半導体プロセスを用いて形成する。

【0082】図20は、先の図9に示した光検出器アレイ10の各検出器の信号を読み出すの回路構成の変形例を示すもので、この場合は各検出器を4つのブロックに分割するようにしている。

【0083】すなわち、(4n-3)行の光検出器はアナログマルチプレクサM1に接続され、(4n-2)行の光検出器はアナログマルチプレクサM2に接続され、(4n-1)行の光検出器はアナログマルチプレクサM3に接続され、4n行の光検出器はアナログマルチプレクサM4に接続されており、先の2分割の実施例に比べてその分割数を増やすことで、信号読み出しの高速化を図るようにしている。

【0084】なお、アナログマルチプレクサは、光検出器アレイとワイヤボンディングなどで結線してもよいし、光検出器アレイと同一基板内にモノリシックに構成してもよい。また、行方向のみならず列方向を複数のブロックに分割するようにしてもよい。

【0085】次に、図21は、図11や図12に示したように、面光線が照射される場合の光検出器アレイの信号読み出し回路を例示するもので、この場合は光検出器アレイにトランジスタなどのスイッチング素子を組み込んだX-Yアドレス方式を採用するようにしている。なお、読み出し方式として電荷転送方式を採用するようにしてもよい。

【0086】ところで、図1、図11および図12に示

す実施例では、被計測物体 9 は固定するようにしたが、被計測物体 9 を X-Y 移動ステージに載せて移動可能に構成し、計測対象領域を適宜変えて計測できるようにしても良い。さらに、この X-Y 移動ステージまたは可動部 30 を X-Y 方向に微小変位可能に構成することによりより高分解能の計測が可能になる。

【0087】また、図 1、図 11 および図 12 に示す実施例において、計測器側を全て固定とし、被計測物体 9 を 3 次元方向に移動走査して 3 次元計測を行うようにしても良い。

【0088】また、共焦点光学系の構成は一例を示したもので、実施例に示したものと同一の機能を達成できるものであれば、他の構成を採用するようにしてもよい。

【0089】

【発明の効果】以上説明したようにこの発明によれば、共焦点光学系の光源の焦点と受光の焦点を同一位置に配したピンホールによって得るようにしたので、計測装置を小型軽量かつ堅牢にすることができ、計測装置の全体又は一部を移動する構成に採用すれば、高速計測、位置合わせ、安定性、計測精度などの各種の面で非常に有利となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明を第 1 実施例を示す図。

【図 2】この発明を原理的に示す図

【図 3】ホログラムの露光態様などを示す図。

【図 4】ホログラム、レンズアレイおよび光検出器アレイなどの部分の構成を示す斜視断面図。

【図 5】ホログラム、レンズアレイおよび光検出器アレイなどの部分の構成を示す断面図。

【図 6】光検出器アレイ及びピンホールアレイ部分の製造手順の一例を示す工程図。

【図 7】光検出器アレイ及びピンホールアレイ部分の他の製造手順を示す工程図。

【図 8】光検出器アレイ及びピンホールアレイ部分の他の製造手順を示す工程図。

【図 9】光検出器アレイの駆動回路の一例を示す図。

【図 10】上記駆動回路の各信号のタイムチャート。

【図 11】この発明の第 2 実施例を示す図。

【図 12】この発明の第 3 実施例を示す図。

【図 13】この発明の第 4 実施例を示す図。

【図 14】第 4 実施例で用いられる回折格子型ハーフミラーを示す図。

【図 15】ホログラム、レンズアレイおよび光検出器アレイなどの部分の他の構成を示す断面図。

【図 16】図 15 の構成の製造手順の一例を示す工程図。

【図 17】ホログラム、レンズアレイおよび光検出器アレイなどの部分の他の構成を示す断面図。

【図 18】ホログラム、レンズアレイおよび光検出器アレイなどの部分の他の構成を示す断面図。

【図 19】この発明の第 5 実施例を示す図。

10 【図 20】光検出器アレイの駆動回路の他の構成例を示す図。

【図 21】光検出器アレイの駆動回路の他の構成例を示す図。

【図 22】共焦点光学系の原理図。

【図 23】共焦点光学系の焦点のずれ態様を示す図。

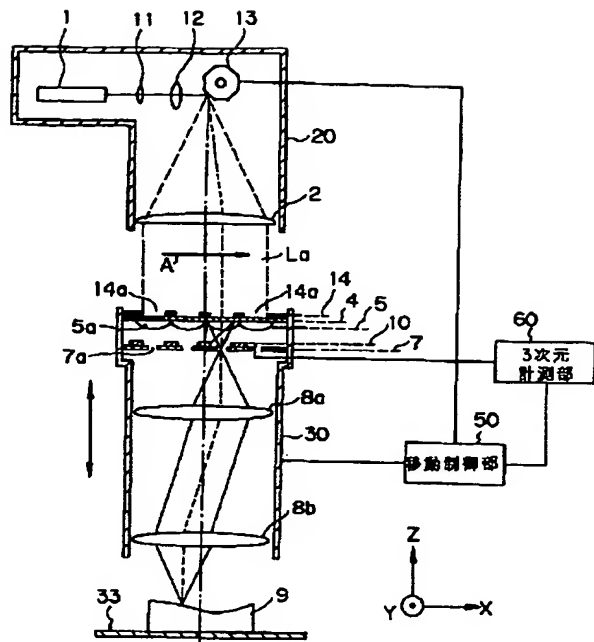
【図 24】物体表面のレンズからの距離に対応する光センサ出力を示す図。

【図 25】共焦点光学系を用いた従来の 3 次元形状計測器の一例を示す図。

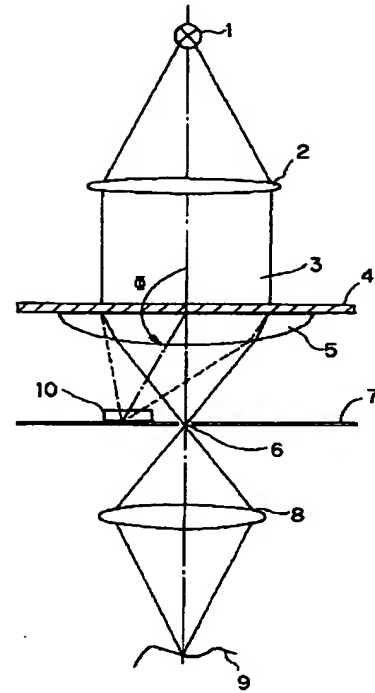
【符号の説明】

- 1…光源
- 2…レンズ
- 3…平行光
- 4…反射ホログラム
- 5…レンズアレイ
- 7…ピンホールアレイ
- 8…レンズ
- 9…被計測物体
- 10…光検出器アレイ
- 14…開口アレイ
- 15…ガラス基板
- 16…透明導電膜
- 19…アモルファスシリコン
- 20…固定部
- 21…ニッケル膜
- 24…絶縁膜
- 25…ニッケル膜
- 30…可動部
- 40…移動ステージ
- 41…回折格子型ハーフミラー
- 50…移動制御部
- 60…3次元計測部

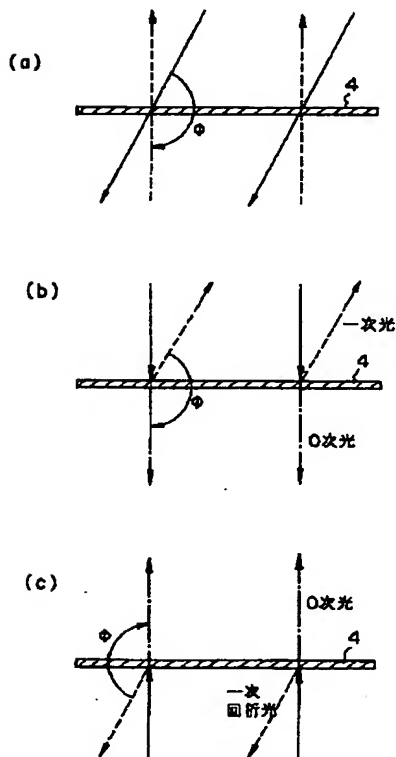
【図1】



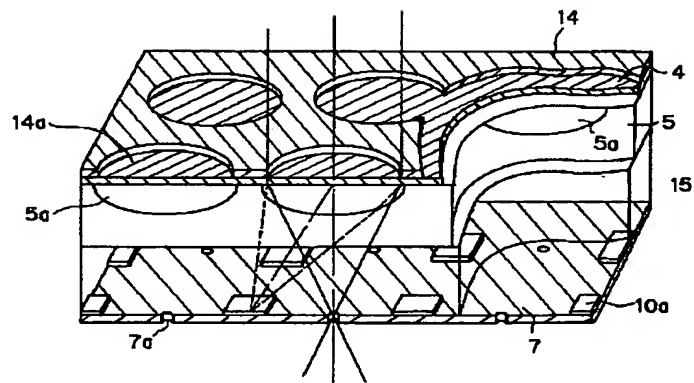
【図2】



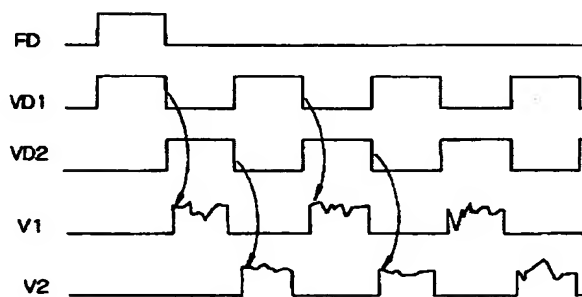
【図3】



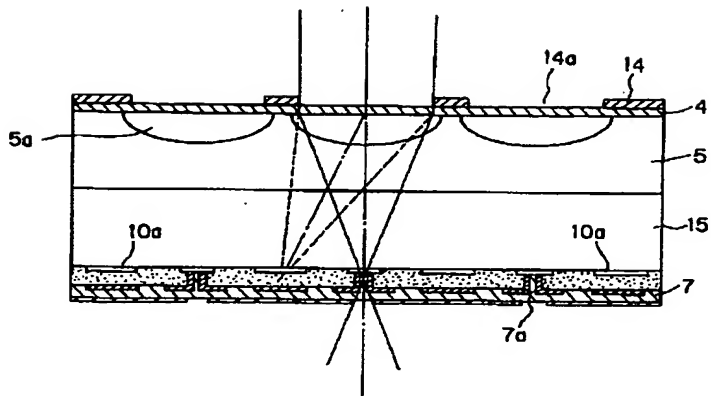
【図4】



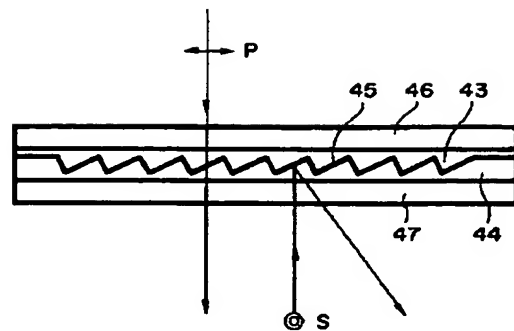
【図10】



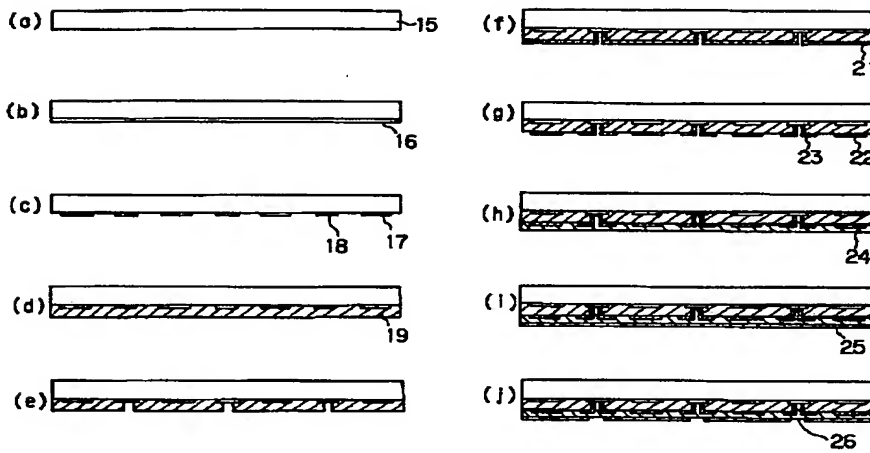
【図5】



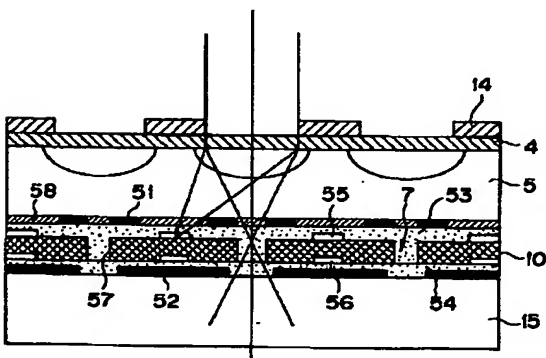
【図14】



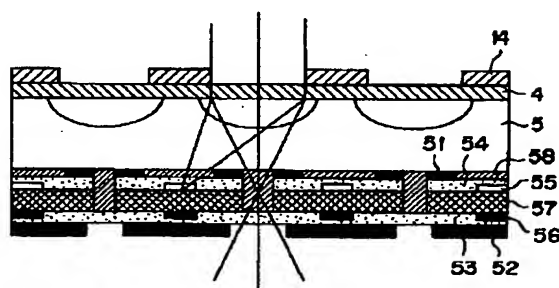
【図6】



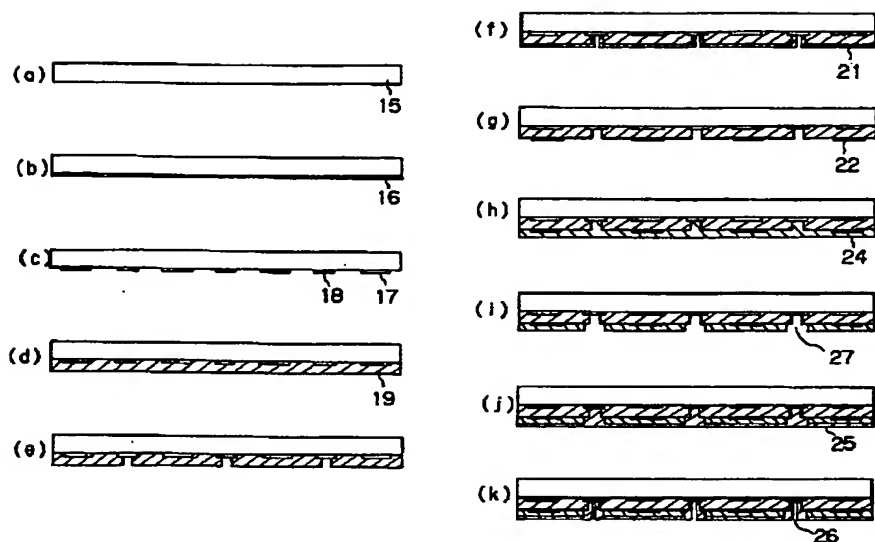
【図15】



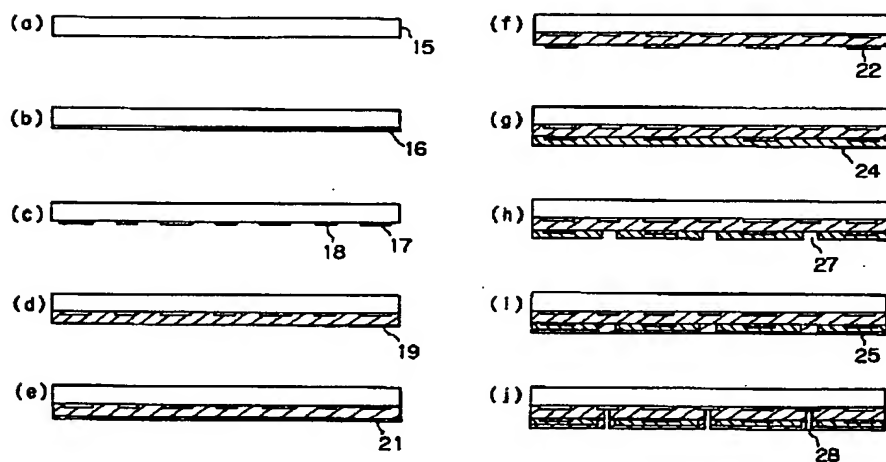
【図17】



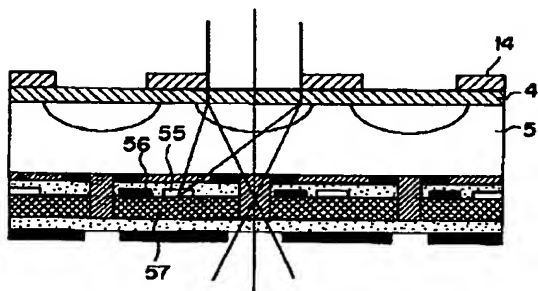
【図7】



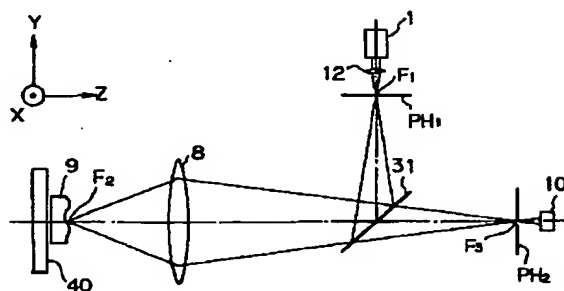
【図8】



【図18】

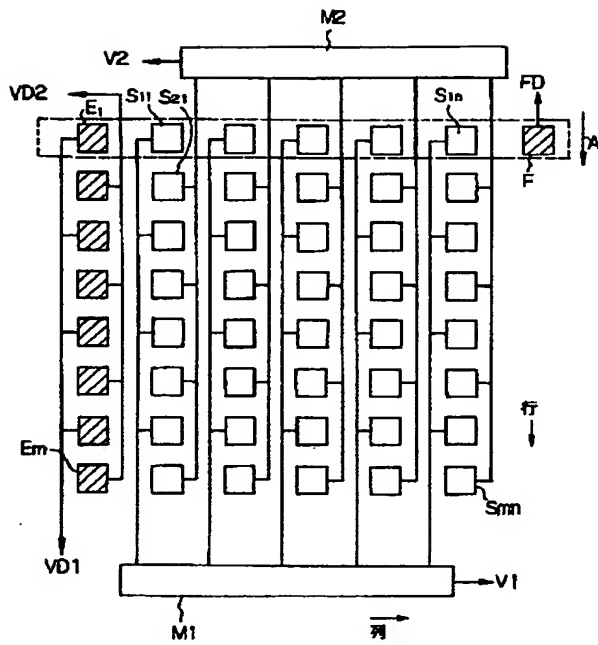


【図22】

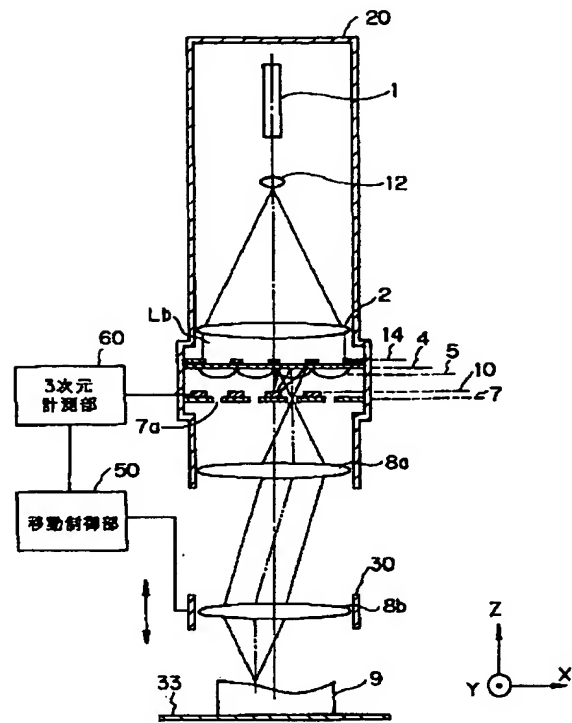




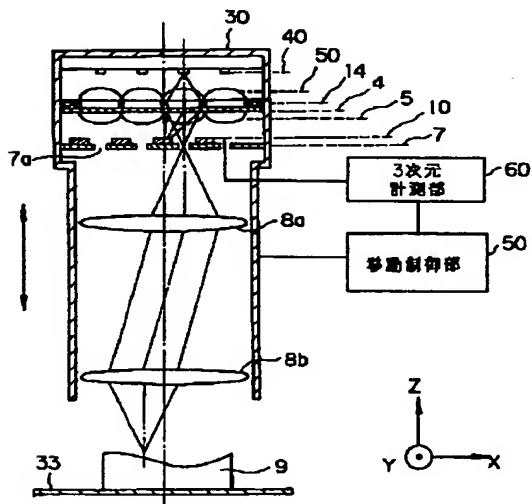
【図9】



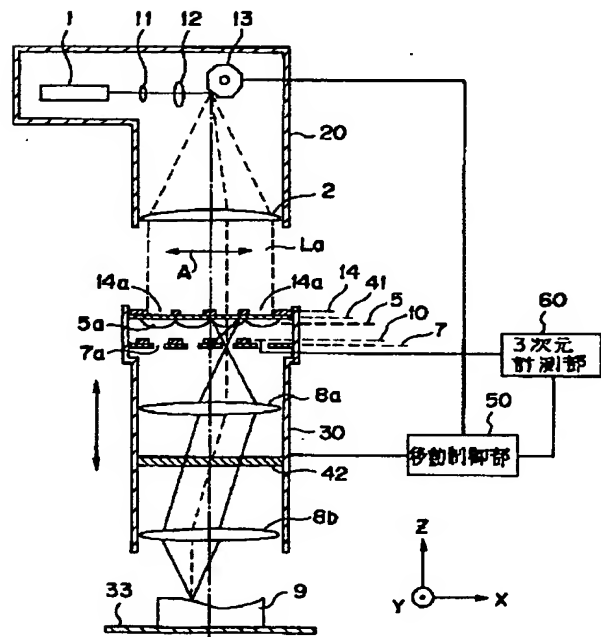
【図11】



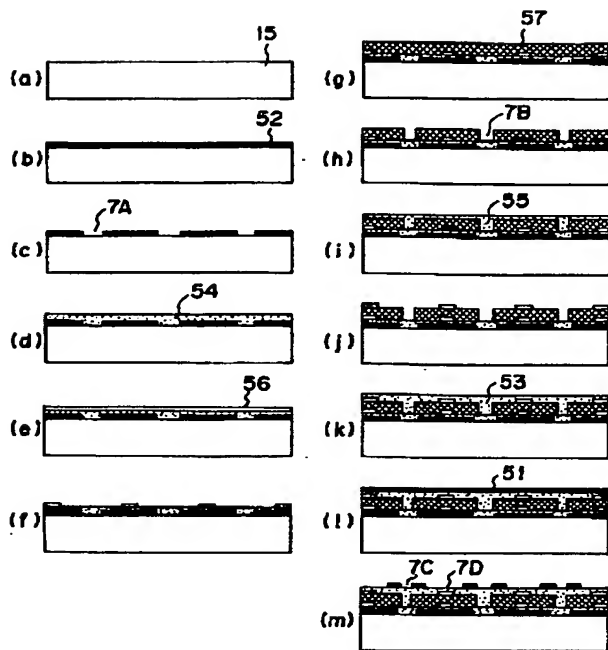
【図12】



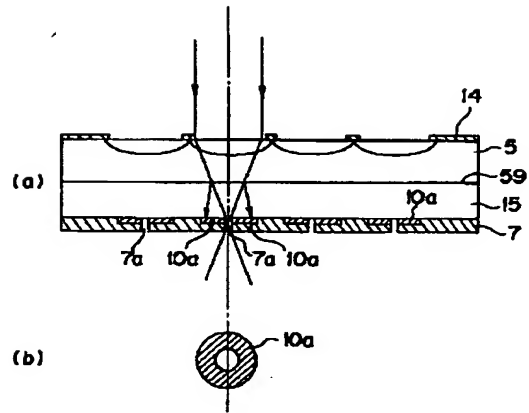
【図13】



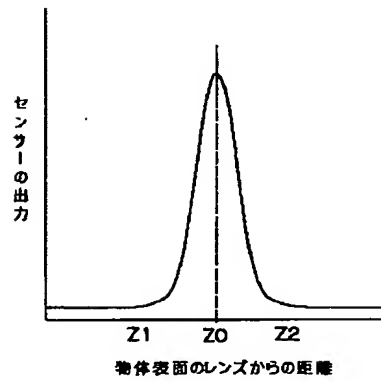
【図16】



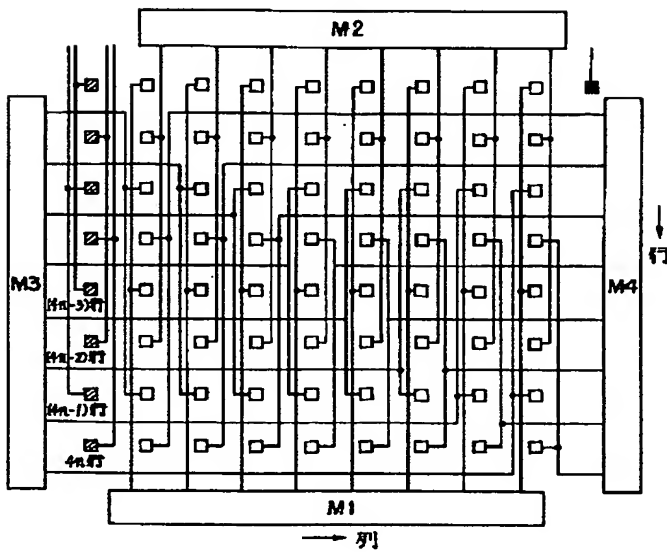
【図19】



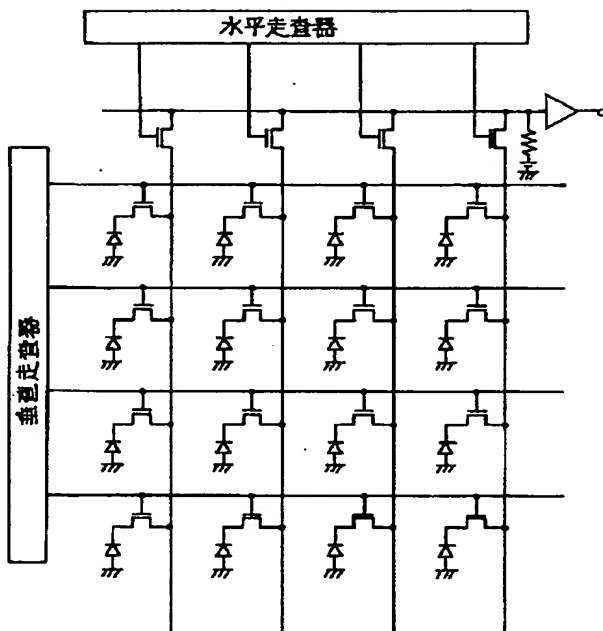
【図24】



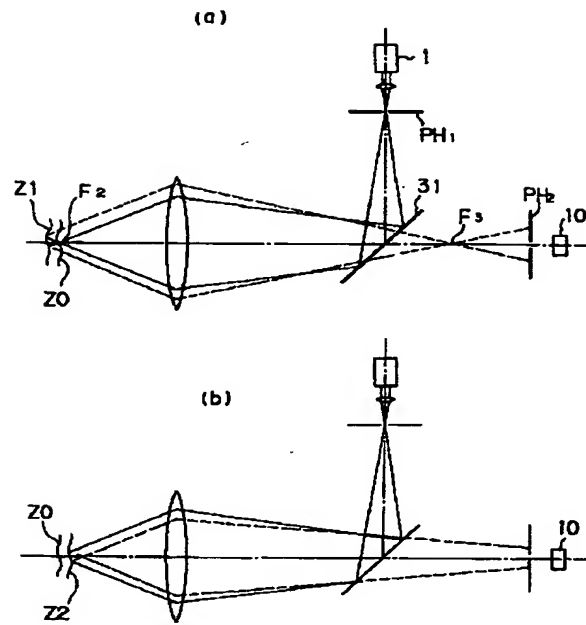
【図20】



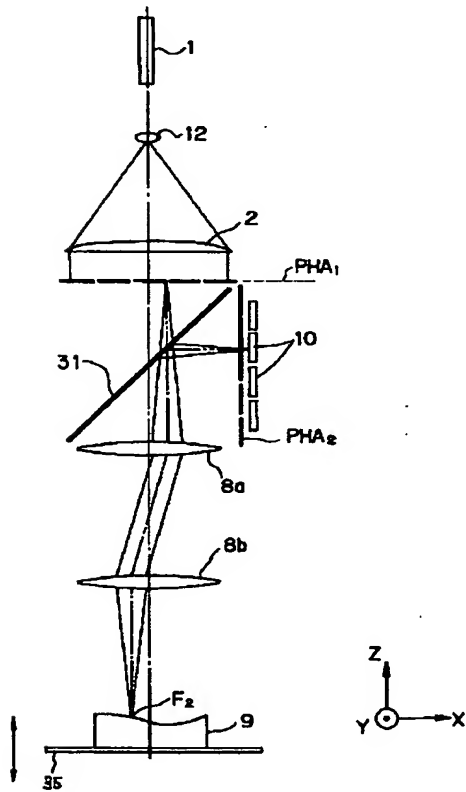
【図21】



【図23】



【図25】



フロントページの続き

(72)発明者 寺田 啓治  
神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製  
作所研究所内  
(72)発明者 守屋 正人  
神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製  
作所研究所内

(72)発明者 安藤 学  
神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製  
作所研究所内  
(72)発明者 塩 耕史  
神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製  
作所研究所内